



# Équations de locus et temporalité de la parole : Une étude de l'impact de la durée vocalique sur les paramètres des équations de locus en Arabe Jordanien.

Mohammad Abuoudeh, Olivier Crouzet

## ► To cite this version:

Mohammad Abuoudeh, Olivier Crouzet. Équations de locus et temporalité de la parole : Une étude de l'impact de la durée vocalique sur les paramètres des équations de locus en Arabe Jordanien.. XXXèmes Journées d'Études sur la Parole - JEP2014, Jun 2014, Le Mans, France. pp.id66. hal-01022972

**HAL Id: hal-01022972**

**<https://hal.science/hal-01022972>**

Submitted on 11 Jul 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Équations de locus et temporalité de la parole : Une étude de l'impact de la durée vocalique sur les paramètres des équations de locus en Arabe Jordanien.

Mohammad Abuoudeh   Olivier Crouzet  
Laboratoire de Linguistique de Nantes – LLING / EA3827  
Université de Nantes, Chemin de la Censive du Tertre  
44312 Nantes Cedex

mohammad.abuoudeh@univ-nantes.fr | olivier.crouzet@univ-nantes.fr

## RÉSUMÉ

---

Les équations de locus sont des modèles de la relation Consonne-Voyelle qui procèdent à une abstraction de la dimension temporelle de la parole en se focalisant sur la relation de fréquence entre les deux composantes d'une séquence Consonne-Voyelle vues comme des segments. Nous présentons un travail dans lequel nous faisons l'hypothèse que ce point de vue est insuffisant. Afin d'évaluer les effets potentiels de la dimension temporelle de la parole sur les paramètres des équations de locus, nous avons procédé à l'enregistrement de séquences Consonne-Voyelle en contexte de phrase auprès de 4 locuteurs de l'Arabe Jordanien et avons évalué l'effet de la longueur vocalique sur les paramètres des équations de locus associées à 5 occlusives non-voisées. Les données recueillies conduisent à observer un effet significatif de la longueur vocalique sur les paramètres de pente et d'ordonnée à l'origine des équations de locus. Ces résultats nous conduisent à nous interroger sur l'aspect non-continu des mesures impliquées dans les estimations des équations de locus mais des analyses complémentaires sont suggérées afin d'évaluer les causes possibles des effets observés.

## ABSTRACT

---

**On locus equations and speech timing: An investigation of the impact of vowel length on locus equation parameters in Jordanian Arabic.**

Locus equations are a model of Consonant-Vowel relationships based on an abstraction of the temporal dimension of speech. They focus on the relation between acoustic frequencies issued from two speech "segments". In this communication, we argue that this hypothesis is erroneous and provide data from an experiment in which the importance of the time dimension on the computation of locus equations was investigated. We have recorded Consonant-Vowel sequences produced in a fixed sentence context by 4 Jordanian Arabic speakers and compared locus equations parameters between long and short vowels for 5 unvoiced stops. According to our analyses, there is a significant impact of vowel length on locus equations, which provides arguments against the non-continuous bases of locus equations parameters in terms of place of articulation, though more thoroughfull analyses are needed in order to get a better understanding of these effects.

**MOTS-CLÉS :** Transitions formantiques, équations de locus, durées vocalique, arabe jordanien.

**KEYWORDS:** Formant transitions, locus equations, vowel duration, Jordanian Arabic.

---

# 1 Introduction

Les équations de locus sont des modèles linéaires exprimant, dans des séquences CV ou VC (avec C = Consonne et V = Voyelle), la relation de dépendance entre les configurations articulatoires réalisées dans la production d'une séquence consonne – voyelle coarticulée (Lindblöm, 1963). Ces équations sont de la forme :

$$F2_{onset} = k \times F2_{mid} + c \quad (1)$$

où les coefficients  $k$  et  $c$  (respectivement la pente et l'ordonnée à l'origine) sont issus d'une régression linéaire appliquée sur la relation entre la fréquence du second formant mesurée au milieu de la voyelle ( $F2_{mid}$ , conventionnellement placée en abscisse) et celle de ce même formant mesurée au moment du relâchement de la consonne ( $F2_{onset}$ , placée en ordonnée).

## 1.1 Équations de locus, coarticulation et catégories phonologiques

Afin d'obtenir une équation de locus (LE pour *Locus Equation*) on extrait des paires de fréquences  $F2_{mid}$ – $F2_{onset}$  sur de nombreuses réalisations individuelles impliquant une catégorie consonantique unique produite en contexte avec différentes voyelles. La plupart des travaux ont porté sur les occlusives (cf. par exemple Sussman *et al.*, 1991) même si certains se sont intéressés à des propriétés qui seraient généralisées à différents modes d'articulation (Sussman et Shore, 1996), voire aux propriétés qu'elles pourraient présenter en lien avec les voyelles (Al-Tamimi, 2007).

Deux approches parallèles cherchent à rendre compte de l'interprétation théorique des équations de locus : dans la lignée du travail séminal de Lindblöm (1963), les équations de locus permettent d'exprimer la « force » de la coarticulation (le degré de coarticulation) entre la consonne et la voyelle (Krull, 1989; Duez, 1992; Iskarous *et al.*, 2010). En théorie, s'il n'y a aucune coarticulation entre la consonne et la voyelle, la réalisation de la consonne est totalement indépendante de celle de la voyelle. Changer la réalisation de la voyelle qui est coarticulée avec la consonne ne devrait donc avoir aucun impact sur le locus consonantique (Delattre *et al.*, 1955), lequel devrait alors être stable quelle que soit la fréquence du formant vocalique. La pente exprimant la relation entre les deux valeurs devrait alors être égale à 0. À l'inverse, si les configurations du conduit vocal associées à la réalisation de la consonne et de la voyelle sont dans une interdépendance massive, on observerait une relation « parfaite » entre ces deux valeurs (p. ex. un changement de 100 Hz dans le formant de la voyelle correspondrait à un changement de 100 Hz dans le locus de la consonne) et la pente de l'équation de locus serait alors égale à 1. Les valeurs des pentes des équations de locus mesurées se distribuent donc en théorie entre ces deux valeurs (0 et 1) : plus la pente est élevée plus le degré de coarticulation est important.

Un autre ensemble de recherches s'est attaché à évaluer la relation entre les propriétés des équations de locus (pente mais aussi ordonnée à l'origine) et les catégories phonologiques (place d'articulation notamment). Sussman *et al.* (1991) montrent que les coefficients de l'équation de locus ne sont pas seulement un indicateur de degré de coarticulation mais aussi un bon descripteur du lieu d'articulation des occlusives.

Ainsi, sur la base de la valeur de pente de la droite de régression obtenue sur les 3 places d'articulation les plus étudiées, les labiales montrent un degré de coarticulation relativement fort (pente élevée autour de 0.9), les alvéolaires ont quant à elles un degré de coarticulation relative-

ment faible (autour de 0.4) et celui des vélaires est intermédiaire (environ 0.7). Ils formulent alors l'hypothèse que la relation linéaire entre  $F2_{onset}$  et  $F2_{mid}$  telle qu'elle est exprimée par les équations de locus représente, sinon un invariant, un indice pour décrire le lieu d'articulation des occlusives. Si les travaux associés à cette problématique se réfèrent également à la question du taux de coarticulation CV, ils orientent plus fortement le débat sur la « fonction » linguistique de ces équations. Alors que la relation entre classes sonores et équations de locus soulève des débats (voir notamment Sussman *et al.*, 1998; Iskarous *et al.*, 2010; Lindblom et Sussman, 2012), cette possibilité d'une catégorisation des données acoustiques associée aux places d'articulation suscite également des interrogations sur leur possible fonction perceptive (Branzacio et Fowler, 1998, par exemple). En effet, les séquences individuelles se distribuent dans des espaces acoustiques relativement distincts et des analyses discriminantes mettent en évidence l'impact des mesures associées sur la classification statistique des séquences (Sussman *et al.*, 1991) et si ces paramètres ne sont ni « invariants » ni suffisants (Branzacio et Fowler, 1998), ils contribueraient de manière non négligeable à la classification (Sussman *et al.*, 1998).

Selon Fowler (1994, voir aussi Iskarous *et al.*, 2010), les équations de locus ne fournissent pas d'informations permettant de spécifier le lieu d'articulation. Par contre, elles caractériseraient les propriétés de chevauchement coarticulatoire, qui peut varier non seulement avec la résistance coarticulatoire due au lieu ou mode d'articulation, mais aussi avec l'accent tonique. Selon Fowler (1994) donc, les équations de locus ne peuvent pas être utilisées comme des descripteurs du lieu d'articulation. À l'inverse, Sussman et Shore (1996) ont estimé des équations de locus dérivées de séquences CV/t/ dans lesquelles le mode d'articulation et le voisement de la consonne initiale variait ( $C \in \{d, t, n, z, s\}$ ; cette consonne étant associée à 10 voyelles différentes) chez 22 locuteurs américains et observent que les pentes des équations de locus mesurées pour des séquences contenant des consonnes qui ont le même lieu d'articulation (alvéolaire uniquement) et différents modes d'articulation (voisement, nasalité, et friction) seraient similaires.

## 1.2 Équations de locus et temporalité de la parole

Il apparaît que la représentation qui est fournie par les équations de locus fait abstraction d'un paramètre central de la parole : la temporalité. En effet, les valeurs qui servent à construire le nuage de points servant de support à la régression linéaire (voir l'illustration Fig. 1) sont des mesures de fréquence prises à deux instants dans la réalisation : le moment initial correspondant à la consonne (bruit de friction résultant du relâchement ou premiers cycles de vibration laryngale faisant suite à l'aspiration consonantique) et le milieu (ou zone de stabilité maximale) de la voyelle. Le fait que ces deux « événements » puissent se répartir différemment dans le temps, et son impact possible sur les trajectoires formantiques, ne semble donc pas crucial dans l'expression des équations de locus. Récemment, Rhone et Jongman (2012) ont calculé les équations de locus avec un  $F2_{mid}$  extrait de trois positions temporelles différentes (entre  $F2_{onset}$  et  $F2_{mid}$ ) du F2 et observent que la position temporelle du  $F2_{mid}$  n'a pas d'impact sur les équation de locus. Cela pourrait mettre en évidence une relative indépendance entre les paramètres des équations de locus et les propriétés temporelles des signaux de parole.

Ce mode de calcul impose aux trajectoires formantiques (O'Shaughnessy, 1986; Al-Tamimi, 2007) une forme de « discrétisation » ignorant les propriétés de continuité du signal de parole. Pourtant, Krull (1989), dans son travail sur la comparaison des degrés de coarticulation entre parole spontanée et contrôlée observe un effet lié au style de parole. En comparant, pour 5 locuteurs

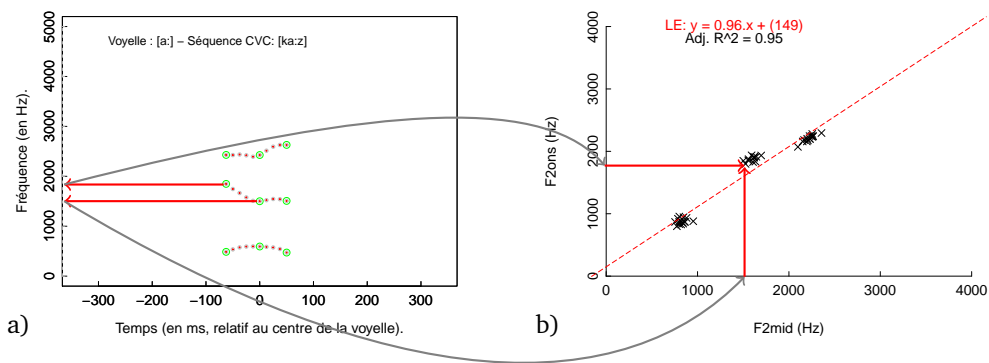


FIGURE 1 – Illustration de la méthode de construction des données pour le calcul des équations de locus. À gauche –Fig. 1a–, un spectrogramme schématisé dérivé automatiquement par une analyse LPC permet d’identifier les points correspondant à la mesure de  $F2_{mid}$  et  $F2_{onset}$  dans une séquence CV. À droite –Fig. 1b–, les deux valeurs de fréquence prélevées permettent de tracer un point unique dans un espace  $F2_{mid} / F2_{onset}$ .

suédois, la production de mots isolés et en conversation spontanée pour les consonnes {b, d, m, n, l}, elle montre que les pentes des équations de locus sont plus élevées pour la parole spontanée que les mots en isolation. Selon elle, cet effet pourrait être dû aux différences de débit ainsi qu’à des phénomènes de réduction vocalique. Parallèlement, Duez (1992) a répliqué le travail de Krull (1989) sur des locuteurs natifs français et ses résultats sont en accord avec les observations de Krull (1989). Pourtant, Sussman *et al.* (1998) semble considérer que les effets mis en évidence par Krull (1989) sont relativement limités :

« mean slope difference between speaking styles across all consonants was only .06. Most important, speaking style variation did not perturb locus equation slopes in their role as phonetic descriptors of consonant place. » (Sussman *et al.*, 1998, p.248)<sup>1</sup>.

Or, s’il apparaît effectivement que les valeurs moyennes observées diffèrent peu en termes de taille observée de l’effet et que les valeurs moyennes des pentes restent ordonnées relativement les unes aux autres entre labiales et dentales sans changement majeur, il n’en reste pas moins que ce que met en évidence le travail de Krull (1989), c’est bien l’impact statistiquement significatif que peuvent avoir des influences stylistiques sur les paramètres des équations de locus. Par ailleurs, le travail de Krull (1989), s’il illustre bien un maintien de la différence entre labiales et dentales quel que soit le style de parole du point de vue de la pente des équations, n’apporte pas d’évidence concernant l’impact potentiel de cette variation en termes perceptifs ; pour cela il conviendrait d’analyser la contribution de ces paramètres acoustiques à leur classification.

Krull (1989) fait référence à deux phénomènes qui pourraient être à l’origine de ces variations de pente : l’un est un phénomène d’origine principalement spectrale concentré sur la voyelle, la réduction vocalique plus marquée en parole spontanée peut conduire à des changements de fréquence des formants plus importants au niveau de la cible vocalique ; l’autre est un phénomène impactant la relation entre les segments : les changements de pente pourraient s’expliquer par

1. « la différence moyenne de pente entre styles de parole sur l’ensemble des consonnes était seulement de .06. Plus important, les variations de style de parole ne perturbaient pas les pentes des équations de locus dans leur rôle de descripteurs phonétiques de la place [d’articulation] des consonnes. »

des variations dans la relation temporelle qui s'établit entre la consonne et la voyelle. Cet impact du style de parole pourrait par exemple influencer le degré de coarticulation et contribuer alors à modifier simultanément les propriétés spectrales de la consonne et de la voyelle.

L'objet du présent travail est de s'intéresser à l'impact de modifications temporelles de la relation consonne-voyelle sur les équations de locus en étudiant l'influence d'une opposition de durée vocalique sur les propriétés acoustiques des consonnes occlusives en Arabe Jordanien.

## 2 Méthode

### 2.1 Participants

Quatre locuteurs jordaniens masculins (étudiants à l'Université de Nantes au moment de la passation) ont participé à cette expérience. L'un des 4 locuteurs est le premier auteur. Ils sont originaires de trois régions différentes de Jordanie (Ma'an, Amman et Irbid), ne présentent aucun trouble du langage et sont âgés de 24 à 38 ans.

### 2.2 Stimuli

Les locuteurs devaient lire, à un rythme soutenu mais confortable, des séquences CVC enchâssées dans une phrase porteuse (/ħaka CVC marte:n/ : « Il a dit CVC deux fois »). Les séquences apparaissaient l'une après l'autre en alphabet arabe vocalisé (les diacritiques représentant les voyelles étaient affichés) sur un écran d'ordinateur.

Nous nous sommes intéressés aux 5 occlusives non-voisées de l'arabe /t, t<sup>ħ</sup>, k, q, ʔ/ (alvéolaire, alvéolaire pharyngalisée, vélaire, uvulaire, glottale). Chacune de ces occlusives apparaissait dans un mot de la langue ayant une structure CVC. Ces 5 occlusives cibles ont été combinées avec 8 voyelles (3 courtes –{i, a, u}– et 5 longues –{i:, a:, u:, e:, o:}/) dans deux positions lexicales (initiale  $C_{cible}VC$  vs. finale  $CVC_{cible}$ ). L'autre consonne du mot était sélectionnée au hasard en fonction des mots existant dans le vocabulaire de l'arabe. Ce qui fait au total 80 mots différents, tous en usage en Arabe Jordanien. La fréquence des mots n'a pas été contrôlée.

### 2.3 Procédure

Nous avons demandé aux locuteurs de lire les séquences « naturellement » sans chercher à « parler correctement ». Un programme Python contrôlait le dérouls de l'expérience (durée d'affichage, ordre de présentation des séquences, interruption et reprise lors des pauses). Les séquences (mot en contexte avec la phrase porteuse) étaient présentées sur l'écran d'ordinateur dans un ordre aléatoire et à un rythme relativement soutenu mais confortable (une phrase toutes les 2500 ms). Les participants ne connaissaient pas les séquences avant le début de l'enregistrement. Chaque mot a été répété 15 fois. Nous avons donc enregistré 1200 séquences par locuteur (5 consonnes × 2 positions syllabiques × 8 voyelles × 15 répétitions).

Les tracés de fréquence des 3 premiers formants de chaque séquence CV cible et leurs coordonnées temporelles ont été extraites avec le logiciel *Praat* (analyse LPC). Ces données ont ensuite été

traitées par un script R chargé de procéder à l’analyse des données. Les tracés formantiques ont été lissés par un moyennage glissant sur toutes les suites de 2 valeurs successives afin de compenser des variations trop rapides des fréquences formantiques (filtrage passe-bas). Les valeurs initiale ou finale (en fonction de la position de l’occlusive dans le mot ;  $F_{2onset}$ ) et médiane ( $F_{2mid}$ ) de chaque tracé formantique ont ensuite été sélectionnées et associées aux variables contrôlées dans l’expérience (occlusive cible, longueur vocalique, voyelle, position de l’occlusive dans le mot, locuteur). Afin de ne pas déséquilibrer l’analyse en raison de la présence de voyelles longues dont le timbre n’est pas présent dans l’inventaire des voyelles courtes de la langue (/e:/ et /o:/), les données obtenues pour ces voyelles n’ont pas été retenues pour l’analyse présentée ici, qui porte donc sur un sous-ensemble de 900 séquences CVC par locuteur.

Des régressions linéaires ont ensuite été produites à partir de ces points afin d’estimer les paramètres de chacune des 80 équations de locus (5 consonnes  $\times$  2 longueurs vocaliques  $\times$  2 positions syllabiques  $\times$  4 locuteurs). Afin d’éviter l’impact de valeurs extrêmes sur les pentes des équations de locus, toute mesure dont le résidu (l’erreur) entre la valeur observée et la valeur prédite était supérieure à la moyenne des valeurs absolues des résidus plus 1.5 fois l’écart-type de ces résidus était identifiée comme un *outlier* et retirée de l’analyse. Suite à cette première phase de l’analyse, une seconde phase de régressions linéaires était produite sans ces valeurs. Ces données extrêmes représentent 7% des données.

C	Pente		Ordonnée à l’origine		$R^2$	
	V courtes	V longues	V courtes	V longues	V courtes	V longues
t	0.78	0.67	375	549	0.94	0.95
t <sup>ʰ</sup>	0.77	0.54	198	384	0.95	0.86
k	0.96	0.94	-33	3	0.95	0.94
q	0.84	0.78	43	158	0.93	0.92
ʔ	0.93	0.83	-62	119	0.98	0.94

TABLE 1 – Valeurs moyennes des pentes, des ordonnées à l’origine et des  $R^2$  des équations de locus calculées pour chaque consonne coarticulée avec les voyelles courtes et les voyelles longues.

## 2.4 Résultats

### 2.4.1 Analyse descriptive

Les valeurs moyennes de pente et d’ordonnée à l’origine des régressions linéaires (équations de locus) associées aux 5 places d’articulation et à l’opposition de longueur vocalique sont présentées Table 1 (cf. Fig. 2 pour une illustration). Les pentes des voyelles longues sont abaissées par rapport à celles des voyelles courtes pour toutes les consonnes. Néanmoins, ce phénomène semble surtout marqué pour les occlusives antérieures (alvéolaire et alvéolaire pharyngalisée) et beaucoup moins pour les occlusives postérieures. On peut aussi remarquer que les ordonnées à l’origine estimées semblent être plus élevées en contexte de voyelles longues qu’en contexte de voyelles courtes. Contrairement aux mesures de pente, l’effet de longueur vocalique semble plus généralisé sur les ordonnées à l’origine mais est moins marqué pour la vélaire. Les valeurs de  $R^2$  représentent le degré d’adéquation entre les données observées et le modèle linéaire estimé ; elles sont relativement élevées pour toutes les conditions étudiées.

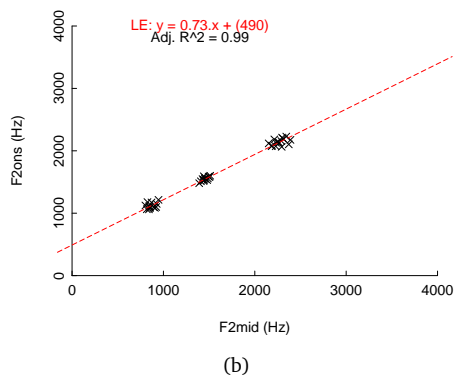
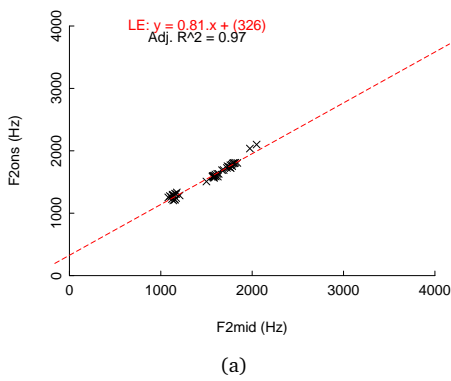


FIGURE 2 – Illustration de deux ensembles de données servant de support à l'estimation des modèles linéaires. Ici, on obtient deux équations de locus issues des mesures réalisées sur l'occlusive alvéolaire /t/ en contexte de voyelle courte (gauche) vs. voyelle longue (droite) – position initiale de mot –CV–, locuteur L2.

## 2.4.2 Analyse inférentielle

Deux ANOVA de Type I à mesures répétées (avec trois facteurs intra-locuteur –Longueur, Consonne, Position–, et les locuteurs comme facteur aléatoire) ont été conduites pour comparer les effets de la longueur vocalique respectivement sur les pentes et ordonnées à l'origine des équation de locus obtenues<sup>2</sup>. La plupart des interactions sont non significatives à l'exception de l'interaction Consonne  $\times$  Position (resp.  $F_{(4,12)} = 3.37, p < .05$  pour les pentes,  $F_{(4,12)} = 8.55, p < .01$  pour les ordonnées à l'origine). Par contre aucune des interactions impliquant la longueur vocalique n'est significative.

En ce qui concerne les effets principaux, les deux analyses de variance confirment les observations issues des tableaux de moyennes (cf. Table 1). Les pentes des voyelles longues diffèrent significativement des pentes des voyelles courtes à travers toutes les consonnes ( $F_{(1,3)} = 53.35, p < .01$ ) ; de-même l'effet de longueur sur les ordonnées à l'origine est significatif ( $F_{(1,3)} = 19.27, p < .05$ ). On observe également, conformément aux travaux classiques sur les équations de locus un effet principal de la place d'articulation des occlusives sur les pentes et ordonnées à l'origine (resp.  $F_{(4,12)} = 23.64, p < .001$ ;  $F_{(4,12)} = 19.64, p < .001$ ).

## 2.4.3 Analyse acoustique des voyelles

Les analyses de données effectuées dans le cadre de ce travail semblent confirmer l'hypothèse d'un effet systématique de la longueur vocalique sur les propriétés des équations de locus. Afin d'affiner nos interprétations, nous avons en premier lieu cherché à savoir si, effectivement, l'opposition de longueur vocalique se manifestait bien par une différenciation temporelle puisque notre hypothèse portait avant tout sur l'impact que des variations de durée auraient sur les équations de locus. Nous avons donc procédé à l'analyse de la relation entre opposition de

2. Le plan d'analyse est équilibré. Ces ANOVAs ont été effectuées sur des données de pente et d'ordonnée à l'origine transformées numériquement (carré des pentes, racine carrée des ordonnées à l'origine transformées en valeurs positives) afin de s'assurer qu'elles respectaient bien les conditions de validité de l'ANOVA (distribution normale, homogénéité des variances). Les statistiques descriptives portent sur les valeurs réelles.



longueur et propriétés acoustiques des voyelles. Comme on pouvait s’y attendre, les voyelles longues ont bien des durées plus longues (129 ms, SE=0.85) que les voyelles courtes (68 ms, SE=1.29). Dans une ANOVA à un seul facteur à mesures répétées avec les locuteurs comme facteur aléatoire, cet effet est significatif ( $F_{(1,3)} = 145.6, p < .01$ ).

Cependant, on observe aussi des influences notables sur les propriétés spectrales des voyelles (Table 2). La même analyse réalisée sur les fréquences des formants aboutit à des différences significatives pour les 3 premiers formants. Nous nous concentrons ici sur les résultats observés concernant le second formant puisque c’est sur lui que nos analyses d’équations de locus sont concentrées. Le  $F_2$  des /i/ est élevé en voyelle longue alors qu’il s’abaisse pour /a/ et /u/. Cette interaction est significative ( $F_{(2,6)} = 65.36, p < .001$ ).

	i	a	u
long	2157 (20)	1353 (27)	963 (26)
court	1711 (34)	1388 (28)	1090 (25)

TABLE 2 – Moyenne (et erreur standard moyenne) des valeurs des fréquences du F2 en Hz mesurées au milieu du formant pour les voyelles longues comparées aux voyelles courtes.

### 3 Discussion

Sans aller directement à l’encontre du modèle conventionnel des équations de locus comme descripteurs de la place d’articulation (Sussman et Shore, 1996), les données présentées ici fournissent des éléments de critique contribuant à reconsidérer leur aspect a-temporel. Il conviendra d’approfondir les analyses afin de mieux comprendre le rôle que peut avoir joué une variation de timbre spectral dans la réalisation des voyelles de longueur distincte sur l’effet observé dans cette étude. Ainsi, il est possible que l’effet observé ne corresponde à aucune modification inhérente à la consonne ou à la relation entre consonne et voyelle mais n’émerge que sous l’influence des changements vocaliques. Les données présentées ici semblent compatibles avec le travail récent de Berry et Weismer (2013) qui montre que les équations de locus sont sensibles à des modifications de débit de parole. Par ailleurs, des analyses complémentaires sont en cours afin de procéder à des vérifications des critères de segmentation utilisés pour l’extraction des valeurs de fréquence du second formant, notamment en ce qui concerne la localisation du moment correspondant au  $F_{2_{onset}}$  qui pose plus de difficultés avec des occlusives non-voisées qu’avec des voisées. Enfin, si les résultats présentés ici fournissent des arguments en faveur d’une prise en compte des variations temporelles dans les études sur les équations de locus, ils ne disent rien sur l’impact que peut avoir ce phénomène en termes de perception de la place d’articulation. Une étude fondée sur les techniques d’analyse discriminante linéaire permettrait d’évaluer l’impact de cet effet sur la classification perceptive basée sur les propriétés constituant les équations de locus.

# Remerciements

Ce travail a été rendu possible grâce au soutien financier de l'Université Al-Hussein Bin Talal (Jordanie). Nous tenons à remercier deux relecteurs anonymes pour leurs commentaires éclairés et fructueux.

## Références

- AL-TAMIMI, J.-E. (2007). *Indices dynamiques et perception des voyelles : Étude translinguistique en arabe dialectal et en français*. Phd thesis, Université Louis Lumière - Lyon 2.
- BERRY, J. et WEISMER, G. (2013). Speaking rate effects on locus equation slope. *Journal of Phonetics*, 41:468–478.
- BRANZACIO, L. et FOWLER, C. A. (1998). On the relevance of locus equations for production and perception of stop consonants. *Perception & Psychophysics*, 60(1):24–50.
- DELATTRE, P., LIBERMAN, A. et COOPER, F. (1955). Acoustical loci and transitional cues for consonants. *The Journal of the Acoustic Society of America*, 27(4):769–773.
- DUEZ, D. (1992). Second formant locus-nucleus patterns : An investigation of spontaneous french speech. *Speech Communication*, 11(4-5):471–427.
- FOWLER, C. (1994). Invariants, specifiers, cues : An investigation of locus equations as information for place of articulation. *Perception and Psychophysics*, 55:597–610.
- ISKAROUS, K., FOWLER, C. a. et WHALEN, D. H. (2010). Locus equations are an acoustic expression of articulator synergy. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 128(4):2021–32.
- KRULL, D. (1989). Second formant locus patterns and consonant-vowel coarticulation in spontaneous speech. *Phonetic experimental research at the institute of linguistics university of Stockholm-PERILUS*, 10:87–108.
- LINDBLOM, B. et SUSSMAN, H. M. (2012). Dissecting coarticulation : How locus equations happen. *Journal of Phonetics*, 40:1–19.
- LINDBLÖM, B. (1963). Spectrographic study of vowel reduction. *Journal of the Acoustical Society of America*, 35(11):1773–1781.
- O'SHAUGHNESSY, D. (1986). The effects of speaking rate on formant transitions in French synthesis-by-rule. In *Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE International Conference on ICASSP '86.*, volume 11, pages 2027–2030.
- RHONE, A. et JONGMAN, A. (2012). Modified locus equations categorize stop place in a perceptually realistic time frame. *The Journal of Acoustical Society of America*, 131(6):EL487–EL491.
- SUSSMAN, H. M., FRUCHTER, D., HILBERT, J. et SIROSH, J. (1998). Linear correlates in the speech signal : The orderly output constraint. *Behavioral and Brain Sciences*, 21:241–299.
- SUSSMAN, H. M., MCCAFFREY, H. A. et MATTHEWS, S. A. (1991). An investigation of locus equations as a source of relational invariance for stop consonant place categorization. *Journal of the Acoustical Society of America*, 90:1309–1325.
- SUSSMAN, H. M. et SHORE, J. (1996). Locus equation as phonetic descriptors of consonantal place of articulation. *Psychonomic Society, Inc.*, 58(6):936–946.